УДК 553.3:622.7(571.54)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГЛИНОЗЕМНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ^{1,2}Антропова И.Г., ¹Алексеева Е.Н., ^{1,2}Доржиева О.У., ¹Гуляшинов П.А., ¹Палеев П.Л.¹ФГБУН «Байкальский институт природопользования» Сибирского отделения

Российской академии наук, Улан-Удэ;

²ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет», Улан-Удэ, e-mail: inan@binm.ru

Представлены результаты изучения химического и минерального составов глиноземсодержащего сырья Республики Бурятия – бокситов Боксонского, нефелиновых руд Мухальского месторождений и алюмосиликатных пород Калюмного участка Сыннырского щелочного массива. Показано, что бокситовые руды Боксонского месторождения относятся к типичным высокожелезистым бокситам и из-за низкого качества, небольших запасов перспективы их освоения невысокие. Одним из возможных вариантов обеспечения потребностей в глиноземе является использование огромных по запасам нефелиновых руд Мухальского месторождения и уникальных по содержанию калия алюмосиликатных пород Сыннырского массива. Показано, что по химическому составу и технологическим свойствам уртиты Мухальского месторождения соответствуют нефелиновым рудам Кия-Шалтырского месторождения, на котором работает Ачинский глиноземный завод в Красноярском крае. Показана перспективность освоения ультракалийевых алюмосиликатных пород Сыннырского массива. Рассмотрена возможность получения калийсодержащих комплексных удобрений на основе синныритов. Показано, что измельченные синныриты, искусственные кальсит-лейцитовые концентраты, органо-минеральное удобрение на основе синнырита и окисленного бурого угля – это водонерастворимые, невымываемые и экологически чистые удобрения, обладающие пролонгированным действием. Также минеральный состав синныритов позволяет при их глубокой комплексной переработке получать чистые соли калия и глинозем.

Ключевые слова: бокситы, нефелины, синныриты, технологические свойства, бесхлорные калийсодержащие удобрения

GENERAL CHARACTERISTICS DEPOSITS OF ALUMINOUS RAW MATERIALS REPUBLIC OF BURYATIA AND PROSPECTS OF THEIR DEVELOPMENT^{1,2}Antropova I.G., ¹Alekseeva E.N., ^{1,2}Dorzhieva O.U., ¹Gulyashinov P.A., ¹Paleev P.L.¹Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences, Ulan-Ude;²Buryat State University, Ulan-Ude, e-mail: inan@binm.ru

Presents the results of studying the chemical and mineral compositions alumina-containing raw materials of the Republic of Buryatia – bauxite Baksanskoe, nepheline ore deposits Mochalskoe and aluminosilicate rocks Kalymnos area Synnyrskoe alkaline massif. It is shown that Baksanskoe bauxite ore deposits are typical of high Fe bauxite and low-quality small stocks prospects of their development is low. One of the possible options to meet the needs in alumina is the use of huge reserves of nepheline ores of the Mochalskoe deposit and unique in potassium content of aluminosilicate rocks of the Synnyr massif. It is shown that the chemical composition and technological properties of the urtites of the Mochalskoe deposit correspond to the nepheline ores of the Kiya-Shaltyr Deposit, where the Achinsk alumina plant in the Krasnoyarsk region operates. The prospects of development of aluminosilicate rocks of ultrapotassium Synnyrskoe array. The possibility of obtaining a potassium-containing compound fertilizers on the basis of synnyrite. It is shown that crushed synnyrites, artificial calcite-leucite concentrates, organo-mineral fertilizer based on synnyrite and oxidized brown coal are water-insoluble, non-removable and environmentally friendly fertilizers with prolonged action. Also, the mineral composition of synnyrites allows for their deep complex processing to obtain pure potassium salts and alumina.

Keywords: bauxite, nepheline, synnyrite, technological properties, chlorine-free potash-containing fertilizers

В настоящее время алюминий и его сплавы благодаря совокупности уникальных физико-химических и механических свойств (малая плотность (2,7 г/см³), податливость штамповке, хорошая тепло- и электропроводность, высокая коррозионная стойкость, стойкость к высоким и низким температурам и т.д.) заняли лидирующие позиции среди конструкционных материалов и имеют хорошие перспективы. Основные потребители алюминиевой продукции – транспортная, строительная, упаковочная, машиностроительная, авиакосмическая от-

расли, автомобилестроение и энергетика. Алюминиевые заводы России работают на глиноземе, получаемом из традиционных бокситовых и частично нефелиновых руд. В Сибири расположены Братский, Красноярский, Иркутский, Саянский и Новокузнецкий алюминиевые заводы. Доля Иркутской области в производстве алюминия от общероссийского производства составляет 35%, но в связи с тем, что весь глинозем привозной, она не имеет для обеспечения своих заводов собственных, подготовленных для освоения сырьевых баз [1].

Одним из возможных вариантов обеспечения потребностей алюминиевых заводов Восточной Сибири в глиноземе и его разумного экспорта является использование глиноземсодержащего сырья Республики Бурятия – Боксонских бокситов, нефелиновых руд Мухальского месторождения и огромных по запасам и уникальных по содержанию калия алюмосиликатных пород – сынныритов. Это позволило бы не завозить сырье с Урала и импортировать из-за границы, что значительно снизит стоимость выпускаемого первичного алюминия.

Материалы и методы исследования

Объектами данного исследования являлись бокситы центральной части Боксонского месторождения, нефелиновые руды Мухальского месторождения, алюмосиликатные породы – сынныриты, отобранные на Сыннырском (Республика Бурятия) и Сакунском (Забайкальский край) массивах нефелиновых сиенитов.

Рентгенофазовый анализ (РФА) исходных минералов проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS, Германия).

Химический состав исходных минералов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре SOLAAR M6 (Thermo Electron, США) и фотоколориметрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5300В.

Кристаллооптическим (минералогическим) методом устанавливался минеральный состав пробы бокситов и сынныритов.

Результаты исследования и их обсуждение

К традиционным глиноземным месторождениям относятся бокситовые руды. Ресурсный потенциал бокситов Сибири оценивается более, чем в 570 млн т, из которых балансовых запасов – 144,9 млн т, забалансовых – 143,3 млн т, прогнозных ресурсов категорий P_1 , P_2 и P_3 – 291,0 млн т.

Наиболее крупные забалансовые запасы бокситов разведаны в Восточном Саяне в Республике Бурятия – 128,9 млн т низкосортных бокситов Боксонского месторождения, расположенного в 150–200 км

от Транссибирской железнодорожной магистрали. На Боксонском месторождении распространен мелкий карст и преобладают раннепалеозойские осадочные бокситы, преимущественно лагунные. Рудное тело приурочено к карбонатной свите и представлено пластовой залежью, залегающей на неровной поверхности рифогенных, водорослевых или слоистых доломитов [2]. Среднее содержание Al_2O_3 – 41–43 %, максимальная мощность пласта 25–30 м. В последние годы перспективы месторождения расширяются с нахождением свалов бокситов в окрестностях Боксонского месторождения.

Минеральный состав бокситов представлен в табл. 1, в пробе руды преобладают бемит (23,79 % Al_2O_3), диаспор (12,35 % Al_2O_3). Наряду с глиноземсодержащими минералами бокситы содержат слюдистые минералы и продукты их выветривания.

Большая часть слюдистого материала относится к слюде мусковитного типа – иллиту (17,8 %). В акцессорной зависимости к хлоритам в пробе присутствует титановый минерал – сфен (2,16 % TiO_2). Красный цвет бокситу придает гематит (Fe_2O_3 20,80 %).

Красные бокситы Боксонского месторождения характеризуются как бемит-диаспоровые и, как видно из рис. 1, на рентгенограмме образца присутствуют линии основных составляющих руды – бемита и гематита.

Для определения относительной плотности исходной руды использовали материал крупности 0,5 мм. Расчетная физическая величина относительной плотности бокситовой руды составила 2,55 г/см³. Силикатный модуль (соотношение Al_2O_3 / SiO_2) равен 2,36.

По данным спектрального, химического составов (табл. 2, 3) и силикатному модулю пробы исследованного образца бокситов относятся к типичным высококремнистым железистым бокситам. Общее содержание серы в бокситах составляет 0,07 %.

Таблица 1

Минеральный состав красных бокситов

Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %
Иллит	17,80	Пирофиллит	1,10	Халькопирит	0,037
Алунит	0,38	Апатит	0,98	Гюбнерит	0,07
Мелантерит	0,52	Диаспор	12,35	Пирит	0,65
Пироксен	3,40	Бемит	23,79	Сфен	5,29
Маргарит	1,50	Каолинит	8,04	Оксиды железа	20,80
Монтмориллонит	1,10	Галенит	0,015	Сумма	100,00
Хлорит	2,15	Сфалерит	0,03

Рис. 1. Рентгенограмма пробы боксита Боксонского месторождения

Рис. 2. Рентгенограмма пробы синнырита Калюного месторождения

Таблица 2

Спектральный состав красных бокситов

Химический элемент	Содержание, вес., %	Химический элемент	Содержание, вес., %	Химический элемент	Содержание, вес., %
O	48,41	K	0,99	Fe	17,75
Na	0,50	Ca	0,22	Ni	0,09
Mg	0,33	Ti	1,09	Cu	1,27
Al	19,78	Cr	0,17	Zn	1,13
Si	8,08	Mn	0,20	Итого	100

Таблица 3

Химический состав бокситов Боксонского месторождения

Содержание, мас. %												
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	п.п.	сумма
18,07	2,16	42,58	21,34	0,44	0,02	0,63	2,28	0,93	0,93	0,6	9,41	99,39

Боксонские бокситы также подвергались технологическим исследованиям. Авторами работы [3] исследованы возможности механической активации низкоккачественных бокситовых руд Боксонского месторождения для извлечения глинозема. Установлено, что эффективное кислотное вскрытие происходит в результате сочетания механической активации и кислотной обработки активированного продукта. Предложен двухстадийный метод разложения бокситов. В работе [4] исследована возможность выщелачивания гидроксида алюминия из боксита щелочными растворами.

Вторым по значению после бокситов видом алюминиевого сырья являются нефелиновые руды, при переработке которых можно получать не только глинозем, но и другие ценные продукты. В Республике Бурятия высокую промышленную ценность представляют разведанные запасы нефелиновых руд Мухальского месторождения. По химическому составу и технологическим свойствам уртиты (26–29% Al₂O₃) и ийолит-уртиты (20–25% Al₂O₃) соответствуют нефелиновым рудам Кия-Шалтырского месторождения, на котором работает Ачинский глиноземный завод в Красноярском крае, однако по запасам они превышают Кия-Шалтырское более чем в 3 раза. В целом по месторождению запасы, включая прогнозные, оцениваются в 882 млн т. Большие запасы, высокое качество руд и незначительная отдаленность от Озерного рудного узла создают благоприятные условия для создания в Забайкалье нового центра минерально-сырьевой базы глиноземной промышленности на основе разработки нефелиновых руд Мухальского месторождения и расположенных в 25 км западнее

Нижне-Бурульзайского и других массивов нефелинсодержащих пород (Инолоктинский, Гулхенский и др.). Месторождение сложено уртитам и ийолит-уртитам. Вмещающими являются осадочные и интрузивные породы, скрытые под покровом неогеновых базальтов. Химический состав уртитов Мухальского месторождения следующий, вес. %: 26,8–29,1 Al₂O₃; 37,3–41,8 SiO₂; 0,7–3,4 Fe₂O₃; 1,4–2,7 FeO; 6,2–13,1 CaO; 7,9–13,2 Na₂O; 2,8–5,5 K₂O; 0,1–0,7 TiO₂; 0,1–5,8 п.п.п. Особенностью химического состава является относительно высокое содержание в них галлия 16–20 г/т. Также строительству Мухальского глиноземного комбината благоприятствует наличие в 12 км высококачественных флюсовых известняков Сириктинского месторождения [5]. Институтами ВАМИ и «Гипроникель» составлено ТЭО строительства глиноземного комбината по производству глинозема, кальцинированной соды, калий-фосфорных удобрений и цемента.

Перспективным нетрадиционным комплексным сырьем для развития алюминиевой отрасли, агропромышленного комплекса страны являются уникальные по содержанию калия (K₂O 19–21%) алюмосиликатные породы – сынныриты. Они были обнаружены в Сыннырском (Республика Бурятия) и Сакунском (Забайкальский край) массивах нефелиновых сиенитов в начале 1960-х гг. В Сыннырском массиве выделены три крупных участка – Каломный, Трехглавый и Верхнеушмунский. Каждый из них можно рассматривать как самостоятельное месторождение. Ресурсные запасы на Каломном участке оценены в 2150 млн т руды; на Трехглавом – 300 млн т руды; на Верхнеушмунском – 150 млн т руды. Глав-

ными породообразующими минералами сынныритов являются калиевый полевой шпат (50–65 %) и природная калиевая разновидность нефелина – кальсилит (20–34 %), который довольно часто встречается в вулканических и интрузивных щелочных породах, но нигде, за исключением Сыннырского и Сакунского массивов, не образует значительных скоплений [6]. По данным проведенного рентгенофазового анализа (рис. 2) основными минеральными фазами сыннырита являются микроклин ($K_2Al_2Si_6O_{16}$), ортоклаз ($K_2Al_2Si_6O_{16}$) и кальсилит ($K_2Al_2Si_2O_8$). По данным химического анализа исследуемой пробы сыннырита из Калюмного участка основными химическими составляющими являются, в %: SiO_2 – 51,86; Al_2O_3 – 22,50; K_2O – 19,16; содержание других компонентов небольшое (Fe_2O_3 – 2,60; P_2O_5 – 1,92; Na_2O – 1,00; CaO – 0,14; MgO – 0,11; TiO_2 – 0,09).

Многолетние агрохимические испытания дробленого сыннырита показали, что последний действует как бесхлорное калийное удобрение [7–8]. Однако перевозка его для агротехнических целей неэкономична из-за низкой доли активного компонента (6,25 %) в сырье. В связи с этим возникает необходимость в проведении исследований по повышению качества этих удобрений за счет увеличения количества усвояемого калия. В зарубежных изданиях встречаются работы, где в качестве бесхлорных калийсодержащих удобрений используются калиевые полевые шпаты, спеченные с соединениями кальция (фосфаты, сульфаты, карбонаты и оксид кальция). Результаты агрохимических исследований полученных смесей удобрений показали низкую эффективность из-за невысоких значений водно-лимоннорастворимого калия [9].

Авторами разработаны физико-химические основы экологически чистых технологий получения калийсодержащих удобрений из сынныритов [10]. Первая технология основана на совместной механохимической активации сынныритов и окисленных бурых углей, а вторая – на получении (синтезе) искусственного лейцит-кальсилитового концентрата термохимическим обогащением с использованием в качестве добавки доломита ($CaMg(CO_3)_2$). В синтезированном концентрате доля лимоннорастворимой усваиваемой растениями формы калия выросла до 89 %. Измельченный сыннырит, искусственные кальсилит-лейцитовые концентраты, органоминеральное удобрение на основе сыннырита и окисленного бурого угля – это экологически чистые удобрения и агроулучшители, обладающие пролонгированным действием и решают общие для

сельского хозяйства проблемы – дефицит бесхлорных калийсодержащих удобрений и негативное воздействие на экологию, что имеет большое значение для условий Байкальского региона. Также минеральный состав сынныритов позволяет при их глубокой комплексной переработке получать чистые соли калия, глинозем и аморфный кремнезем.

Выводы

Таким образом, на сегодняшний день из алюминийсодержащих руд Бурятии только нефелиновые руды Мухальского месторождения и ультракалийевые алюмосиликатные породы Сыннырского массива могут рассматриваться как сырьевая база глиноземной промышленности России. Минеральный состав данных руд позволяет при их комплексной переработке организовать безотходное производство с извлечением всех ценных компонентов в товарные продукты (глинозем, содопродукты, калийсодержащие удобрения и цемент). Боксонские бокситы из-за низкого качества и небольших запасов нельзя считать объектом для эксплуатации.

Список литературы

1. Сизяков В.М., Бажин В.Ю., Власов А.А. Состояние и перспективы развития производства алюминия // *Металлург.* 2010. № 7. С. 5–8.
2. Самойлов А.Г., Копылов А.В., Ломаев В.Г. Бокситы Сибири и возможность их использования для производства глинозема // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 2006. № 5. С. 8–12.
3. Шумская Л.Г., Юсупов Т.С. Химическое обогащение низкосортных бокситов на основе активационного измельчения. Ч. II: Кислотное вскрытие высококремнистых диаспор-бемитовых бокситов с извлечением алюминия в жидкую фазу // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* 2003. № 6. С. 97–103.
4. Бурцев А.В., Лайнер Ю.А., Горичев И.Г., Киприянов Н.А., Изотов А.Д. Исследование кинетики выщелачивания гидроксида алюминия, входящего в состав бокситов, щелочными растворами при атмосферном давлении // *Металлы.* 2011. № 6. С. 15–19.
5. Кислов Е.В. Бурятия богата и алюминиевой рудой // *Наука в Сибири.* Издание СО РАН. № 38 (2923) от 26 сентября 2013 г.
6. Архангельская В.В. Месторождения Сынныритов России // *Разведка и охрана недр.* 2014. № 6. С. 20–24.
7. Manning D.A.C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review // *Agronomy for Sustainable Development (Agr. Sustainable Dev.).* 2010. Vol. 30 (2). P. 281–294.
8. Santos W.O., Mattiello E.M., Costa L.M., Abrahao W.A.P., Novais R.F., Cantarutti R.B. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 2016. Vol. 179. P. 547–556.
9. Zhang Yi. et. al. Low temperature synthesis of high purity leucite // *Materials Letters.* 2006. Vol. 60. P. 2819–2823.
10. Будаева А.Д., Антропова И.Г., Алексеева Е.Н., Хомякова Д.П. Получение органоминеральных удобрений из отходов угледобычи и минерального сырья // *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017. № 12 (66). Ч. 3. С. 85–88.